

PENGARUH SUHU DAN WAKTU PEMANASAN TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN ELEKTROLES Ni-P PADA BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK SS 420

Bahtiar Nurhakim¹, Arini Nikitasari², Sunardi¹ dan Efendi Mabruri²

¹Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Soedirman Km.3, Cilegon

²Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI

Kawasan Puspiptek Gd.470, Tangerang Selatan

E-mail: arini_nikitasari@yahoo.com

Diterima: 17 Februari 2017

Diperbaiki: 25 April 2017

Disetujui: 3 Mei 2017

ABSTRAK

PENGARUH SUHU DAN WAKTU PEMANASAN TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN ELEKTROLES Ni-P PADA BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK SS 420. Telah dilakukan pelapisan elektrodes Nikel-Posfor (Ni-P) pada baja tahan karat martensitik SS 420 dengan berbagai variasi suhu dan waktu perlakuan panas. Karakteristik lapisan elektrodes Ni-P yang berupa strukturmikro dan ketahanan korosi dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi suhu dan waktu pemanasan. Variasi suhu perlakuan panas yang digunakan yaitu 200 °C, 300 °C, 400 °C, dan 500 °C, sedangkan variasi waktu pemanasan yang digunakan antara lain 60 menit, 120 menit, dan 180 menit. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kenaikan suhu dan waktu pemanasan menyebabkan lapisan elektrodes Ni-P yang terbentuk menjadi lebih seragam dan ketahanan material terhadap korosi semakin meningkat. Terjadi peningkatan kadar unsur Nikel dan Posfor dalam lapisan elektrodes Ni-P dengan adanya perlakuan panas. Kadar unsur Nikel dan Posfor tertinggi pada suhu pemanasan 400 °C dan waktu pemanasan selama 180 menit.

Kata kunci: Elektrodes, Nikel-Posfor, Martensitik, Korosi

ABSTRACT

EFFECT OF TEMPERATURE AND HEATING TIME ON THE COATING CHARACTERISTICS OF MARTENSITIC SS 420 ELECTROLESS Ni-P. Electroless nickel phosphorus (Ni-P) coating has been done on the martensitic stainless steel SS 420 with a variety of temperature and heating time. Electroless Ni-P coating characteristics; microstructure and corrosion resistance were analyzed to determine the effect of variations in temperature and heating time. Variations in the temperature of the heat treatment used are 200 °C, 300 °C, 400 °C and 500 °C, while the variation of heating time is used, 60 minutes, 120 minutes and 180 minutes. The results showed that the rise in temperature and heating time causes electroless Ni-P coating becomes more uniform and corrosion resistance of material is also increasing. Nickel and phosphorus elements in electroless coating of Ni-P increased with heat treatment. The highest nickel and phosphorus elements obtained at 400 °C heating temperature and 180 minute heating time.

Keywords: Electroless, Nickel-Phosphor, Martensitic, Corrosion

PENDAHULUAN

Strategi pencegahan untuk mengurangi tingginya biaya reparasi akibat korosi menjadi menarik untuk dibahas. Berbagai teknologi telah digunakan untuk mengontrol terjadinya fenomena korosi. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi laju korosi yaitu

teknik pelapisan (*coating*) [1]. Proses pelapisan (*coating*) merupakan metode yang populer untuk melindungi material dari korosi. Deposisi pelapisan pada umumnya dilakukan dalam larutan elektrolit atau elektrodes [2].

Elektroles ditemukan oleh Brenner dan Riddle untuk melapisi bagian dalam pipa pada tahun 1946, selanjutnya *elektroles* banyak diaplikasikan pada berbagai material seperti kayu, serat, plastik, kertas, kaca, dan keramik pada tahun 1960-an. *Elektroles* merupakan teknik pelapisan tanpa menggunakan arus listrik [3]. *Elektroles* merupakan proses reduksi kimia yaitu reduksi katalitik ion logam dari larutan yang mengandung *agent* pereduksi [4].

Deposisi *elektroles*, seperti Ag, Au, Cu, Pt, dan *elektroles* nikel posfor (ENP), banyak digunakan dalam industri karena dapat menghasilkan lapisan yang seragam untuk berbagai komponen, serumit apapun bentuk komponen tersebut. Di antara berbagai jenis *elektroles*, ENP merupakan teknik pelapisan yang dapat diaplikasikan pada berbagai jenis material seperti *quartz* dan polimer [5].

Elektroles nikel posfor (ENP) banyak diaplikasikan dalam industri untuk melapisi valve, peralatan medis, dan silinder hidrolik karena sifat mekanik dan fisiknya yang unggul serta kemampuannya dalam mencegah keausan dan korosi [6-10]. Sifat dan strukturnya ENP tergantung pada kadar unsur posfor pada lapisan yang terbentuk dan perlakuan panas setelah proses *elektroles* selesai dilakukan. Struktur lapisan ENP terdiri dari tiga macam yaitu kristalin, amorf, dan gabungan keduanya.

Secara umum, kadar posfor rendah (1-5% P) berstruktur mikrokristalin, kadar posfor sedang (6-9% P) berstruktur gabungan antara kristalin dan amorf, dan kadar posfor tinggi (10-13% P) berstruktur amorf. Kadar posfor tinggi pada ENP mengindikasikan keunggulannya dalam mencegah korosi, tetapi kekerasan dan ketahanan ausnya lebih rendah dibanding ENP dengan kadar posfor rendah [6].

Perlakuan panas pada ENP juga mempengaruhi sifat lapisan yang terbentuk, antara lain sifat adesif dan kekerasannya [11]. Selama ini, penelitian mengenai *elektroles* Ni-P banyak berfokus pada rekayasa permukaan dan optimasi berbagai parameter percobaan *elektroles* seperti komposisi nikel dan *agent* pereduksi yang digunakan [10]. Oleh karena itu, pada penelitian ini, dilakukan variasi suhu dan waktu perlakuan panas untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik lapisan ENP pada baja tahan karat martensitik SS 420.

Penggunaan baja tahan karat martensitik SS 420 pada penelitian ini dikarenakan material SS 420 banyak digunakan sebagai material pada sudu turbin uap. Sudu turbin bekerja pada putaran tinggi dan lingkungan yang korosif sehingga material sudu turbin SS 420 rentan mengalami kegagalan berupa korosi sumuran, fatik korosi, dan korosi retak tegang [12]. Oleh karenanya dilakukan pelapisan *elektroles* Ni-P pada SS 420 dengan tujuan untuk menambah ketahanannya terhadap korosi sehingga dapat menambah umur turbin uap.

METODE PERCOBAAN

Preparasi Benda Uji

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tahan karat martensitik SS 420. Tabel 1. menunjukkan komposisi kimia dari baja tahan karat martensitik SS 420.

Tabel 1. Komposisi kimia baja tahan karat Martensitik SS 420.

Komposisi Kimia (% Berat)							
C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Fe
0,43	0,26	0,02	0,02	0,37	0,15	12,41	Bal.

Preparasi benda uji dilakukan dengan memotong material baja tahan karat martensitik SS 420 yang berbentuk silinder menjadi bentuk persegi dengan ukuran 2 cm x 2 cm. Selanjutnya benda uji diberi lubang sebagai tempat untuk menggantungkan ketika proses *elektroles* dilakukan.

Elektroles Nikel-Posfor

Sebelum proses *elektroles* nikel-posfor dimulai, dilakukan *pre-treatment* terlebih dahulu terhadap benda uji. Pertama-tama, permukaan benda uji dibersihkan secara mekanik dari produk korosi dan dibersihkan menggunakan deterjen lalu dibilas menggunakan air suling. Selanjutnya, benda uji direndam dalam 10 mL HNO₃, 20 mL HCl, dan 30 mL H₂O pada suhu ruang selama 2 menit lalu dibilas menggunakan air suling. Setelah itu, benda uji diaktivasi menggunakan 0,6 g/L PdCl₂ + 5 mL HCl pada suhu ruang selama 10 menit lalu direndam dalam air suling selama 1 menit. Terakhir, benda uji dimasukkan ke dalam larutan 50 g/L NaH₂PO₂ selama 10 menit dan dibilas menggunakan air suling.

Setelah proses *pre-treatment* terhadap benda uji selesai dilakukan, benda uji dimasukkan ke dalam larutan *elektroles* nikel-posfor. Larutan *elektroles* nikel-posfor memiliki komposisi kimia seperti pada Tabel 2. Benda uji direndam dalam larutan *elektroles* nikel-posfor selama 120 menit. Waktu pelapisan selama 120 menit ini dipilih karena merupakan waktu optimum berdasarkan penelitian pendahuluan yang telah kami lakukan.

Tabel 2. Komposisi kimia *elektroles* Nikel-Posfor [11].

Komposisi	Konsentrasi (g/l)
Nikel Sulfat (NiSO ₄ ·6H ₂ O)	35
Sodium hipoposfit (NaH ₂ PO ₂ ·H ₂ O)	20
Sodium citrat (Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇)	15
Sodium acetat (NaOOCCH ₃ ·3H ₂ O)	5

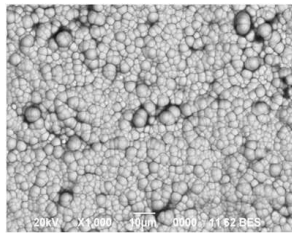
Perlakuan Panas

Benda uji yang telah terlapisi oleh *elektroles* nikel-posfor diberikan perlakuan panas dengan variasi suhu

200 °C, 300 °C, 400 °C, dan 500 °C, variasi waktu perlakuan panas selama 60 menit, 120 menit dan 180 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi lapisan Ni-P yang terbentuk berupa strukturmikro dan korosi dianalisis pada percobaan ini untuk mengetahui keseragaman lapisan dan ketahanan korosi material akibat adanya pelapisan. Hasil analisis karakterisasi lapisan yang terbentuk diharapkan memiliki strukturmikro yang seragam dan laju korosi yang rendah sehingga dapat menambah umur pakai material SS 420 sebagai sudu turbin uap, seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

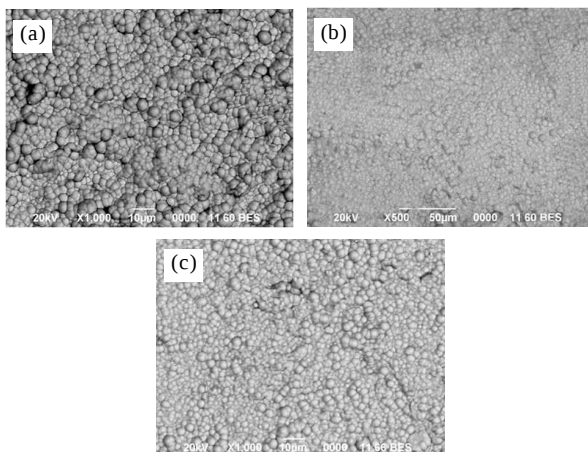


Gambar 1. Strukturmikro lapisan tanpa perlakuan panas pembesaran 1000x.

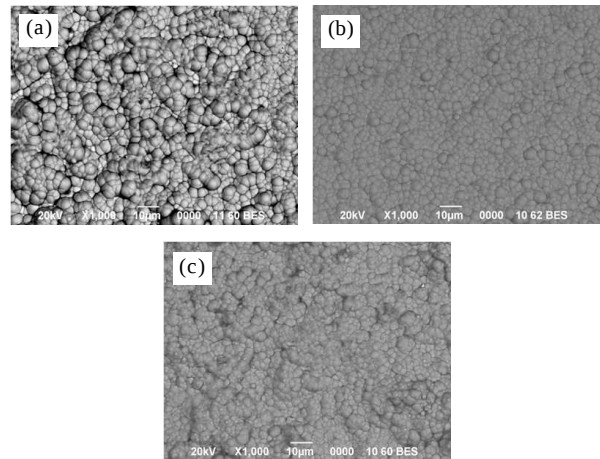
Analisis Morfologi

Alat yang digunakan dalam analisa morfologi adalah *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk butiran, unsur yang terkandung, serta melihat perbandingan lapisan yang melalui dan tanpa melalui proses perlakuan panas, seperti diperlihatkan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 4.

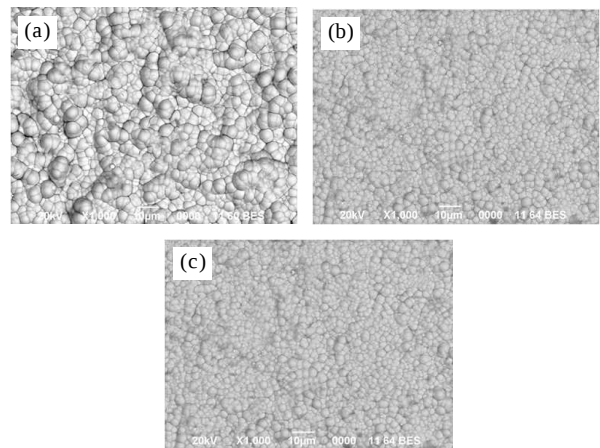
Berdasarkan gambar morfologi di atas, pada setiap suhu pemanasan cenderung terjadi keseragaman lapisan *elektrodes* Ni-P seiring penambahan waktu pemanasan. Keseragaman lapisan *elektroless* Ni-P dapat terlihat berdasarkan gambar *SEM* yaitu butiran-butiran lapisan nikel-posfor menutupi permukaan substrat secara merata.



Gambar 2. Lapisan Ni-P setelah perlakuan panas pada suhu 200 °C dengan variasi waktu (a). 60 menit (b). 120 menit (c). 180 menit.

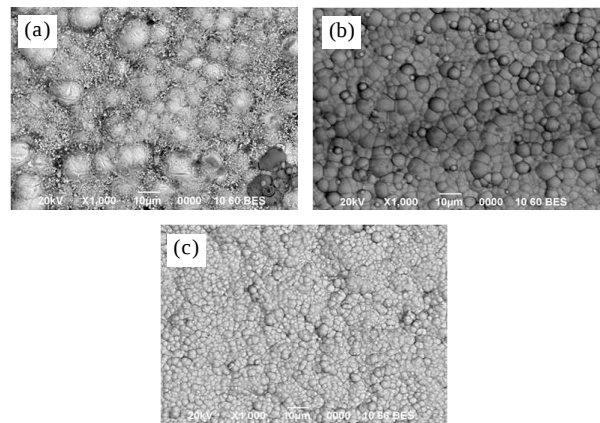


Gambar 3. Lapisan Ni-P setelah perlakuan panas pada suhu 300 °C dengan variasi waktu (a). 60 menit (b). 120 menit (c). 180 menit.



Gambar 4. Lapisan Ni-P setelah perlakuan panas pada suhu 400 °C dengan variasi waktu (a). 60 menit (b). 120 menit (c). 180 menit.

Hal ini terjadi karena durasi atom-atom untuk berdifusi menjadi lebih panjang, pada lapisan Ni-P. Pada suhu pemanasan 500 °C (Gambar 5(a)) terjadi oksidasi yang menyebabkan permukaan lapisan terbakar dan menjadi



Gambar 5. Lapisan Ni-P setelah perlakuan panas pada suhu 500 °C dengan variasi waktu (a). 60 menit (b). 120 menit (c). 180 menit.

hitam. Struktur lapisan yang terlihat pun berbeda karena pada lapisan permukaan telah terjadi oksidasi, pada suhu 500 °C unsur Ni dan P memiliki kecenderungan untuk meningkatkan kekerasan permukaan sehingga dalam proses perlakuan panas memerlukan bantuan karbon untuk menghindari terjadinya oksidasi. Sehingga pada proses pemanasan 500 °C selama 120 dan 180 menit proses pemanasan menggunakan karbon. Struktur lapisan Ni-P yang terbentuk cenderung sama dan seragam seperti pada suhu 400°C.

Korelasi Suhu Perlakuan Panas Terhadap Komposisi Nikel dan Posfor

Untuk mengetahui seberapa besar Nikel dan Posfor yang terdapat pada permukaan lapisan dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-ray (SEM EDX)*. Setelah melakukan pengujian didapatkan hasil seperti pada Tabel 3 hingga Tabel 7.

Dari analisis EDX terdapat kandungan posfor beragam, dirata-ratakan komposisi di atas 5,5 % dikategorikan medium posfor [6].

Tabel 3. Komposisi (%) Ni , dan P pada lapisan tanpa perlakuan panas.

Unsur	Komposisi (%)
Nikel	78,85
Posfor	5,70

Tabel 4. Komposisi (%) Ni dan P pada lapisan dengan suhu perlakuan panas 200 °C.

Waktu	Ni	P
60 menit	85,03	5,79
120 menit	90,01	6,45
180 menit	90,15	6,50

Tabel 5. Komposisi (%) Ni dan P pada lapisan dengan suhu perlakuan panas 300 °C.

Waktu	Ni	P
60 menit	89,58	6,31
120 menit	90,60	6,49
180 menit	91,82	6,97

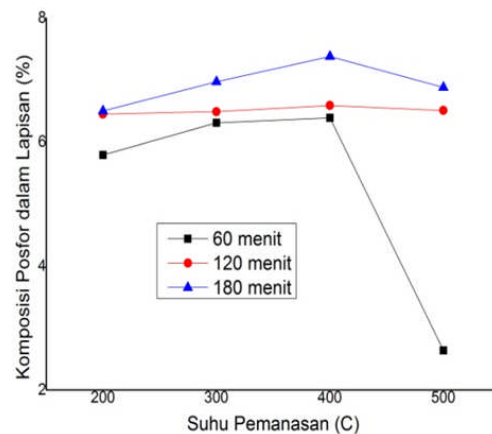
Tabel 6. Komposisi (%) Ni dan P pada lapisan dengan suhu perlakuan panas 400 °C.

Waktu	Ni	P
60 menit	90,01	6,39
120 menit	90,89	6,59
180 menit	92,32	7,38

Tabel 7. Komposisi (%) Ni dan P pada lapisan dengan suhu perlakuan panas 500 °C.

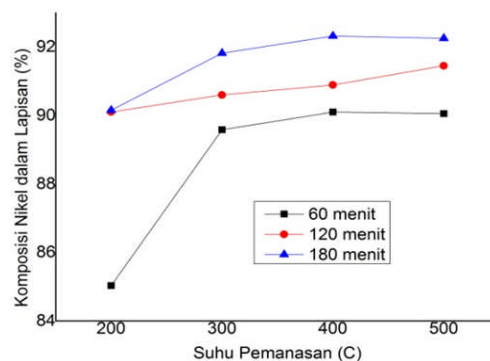
Waktu	Ni	P
60 menit	90,05	2,64
120 menit	91,45	6,51
180 menit	92,25	6,88

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, terdapat peningkatan unsur posfor dengan meningkatnya suhu perlakuan panas, peningkatan berada di kisaran 0,1 - 0,8 %. Secara langsung temperatur kamar dapat meningkatkan atau menurunkan ketersediaan posfor. Pada temperatur yang relatif tinggi, ketersediaan posfor akan meningkat karena proses perombakan bahan unsur posfor di lingkungan juga meningkat. Ketersediaan posfor menipis di kondisi lingkungan yang bersuhu rendah. Pada suhu 500 °C kandungan posfor menurun drastis akibat melemahnya ikatan atom-atom akibat terjadinya transformasi fasa metastabil nikel-posfor menjadi fasa campuran larutan padat nikel Ni-Ni₃P (dengan kandungan posfor yang sangat rendah). Oleh karena itu, komposisi nikel dan posfor terbaik berada pada suhu 400 °C karena di atas 400 °C, ikatan atom-atom dalam fasa nikel sangat lemah.



Gambar 6. Korelasi suhu pemanasan terhadap prosentase komposisi posfor pada lapisan Ni-P.

Berdasarkan Gambar 7, kandungan nikel pada lapisan dengan perlakuan panas mengalami kenaikan yang signifikan dibandingkan lapisan tanpa perlakuan panas. Kenaikan berada pada kisaran 0,2 - 5 %, kenaikan cenderung stabil pada suhu 300 - 400 °C. Kenaikan nikel terjadi akibat kenaikan densitas. Densitas merupakan kerapatan penyusun sampel, sehingga keberadaan sedikit ruang kosong akan mempengaruhi kerapatan padatan berpori dan akan mempengaruhi perbandingan

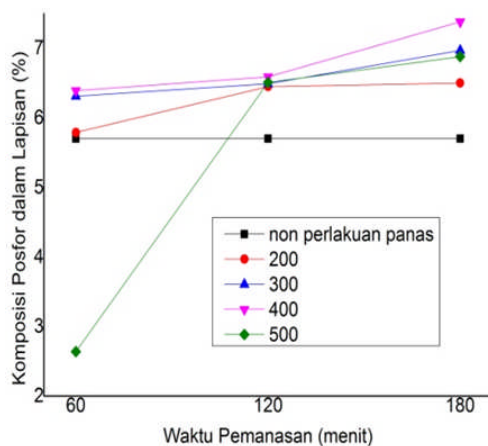


Gambar 7. Korelasi suhu pemanasan terhadap prosentase komposisi nikel pada lapisan Ni-P.

dari berat per volume sampel. Nilai densitas cenderung bertambah dengan kenaikan temperatur pemanasan [13].

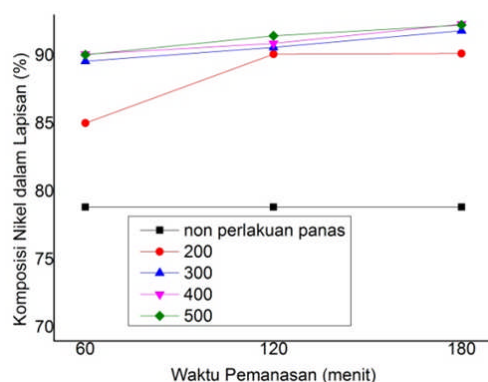
Korelasi Waktu Perlakuan Panas Terhadap Komposisi Nikel dan Posfor

Gambar 8 menunjukkan perubahan komposisi Posfor pada setiap waktu pemanasan. Seiring bertambahnya waktu pemanasan, cenderung terjadi peningkatan komposisi posfor yang terkandung pada lapisan. Hal ini disebabkan lamanya waktu pemanasan memungkinkan atom-atom untuk bergerak mengisi kekosongan menjadi lebih panjang, sehingga atom posfor yang terbentuk lebih seragam [14]. Pada saat pemanasan selama 120 menit pengaruh suhu terlihat tidak terlalu dominan.



Gambar 8. Korelasi waktu pemanasan terhadap prosentase komposisi posfor pada lapisan Ni-P.

Gambar 9 menunjukkan perubahan komposisi Nikel pada setiap waktu pemanasan. Seiring bertambahnya waktu pemanasan, cenderung terjadi peningkatan komposisi Nikel yang terkandung pada lapisan. Hal ini disebabkan lamanya waktu pemanasan memungkinkan atom-atom untuk bergerak mengisi kekosongan menjadi lebih panjang [14], sehingga atom Nikel yang terbentuk lebih seragam.



Gambar 9. Korelasi waktu pemanasan terhadap prosentase komposisi nikel pada lapisan Ni-P.

Analisa ketahanan laju korosi lapisan Ni-P

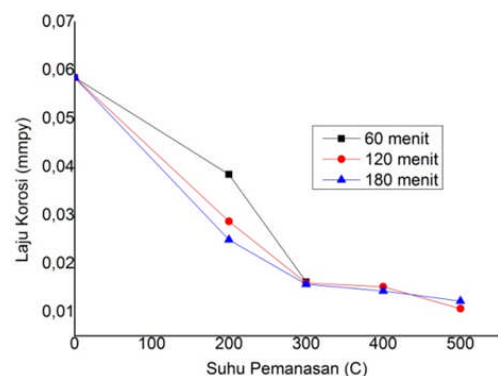
Untuk mengetahui ketahanan korosi pada permukaan coating, dilakukan pengujian laju korosi *Corrosion Measurement System (CMS)* Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan media larutan NaCl sebanyak 8,75 gr dalam 250 mL aquades atau 3,5% NaCl. Material yang akan diuji perlu dihubungkan dengan kabel dengan cara dipatri (*solder*) dan diukur luasan area (cm^2) yang akan diberikan arus listrik. Pengujian dilakukan pada sampel yang telah melalui proses perlakuan panas dengan material yang tidak melalui proses perlakuan panas untuk melihat perubahan yang terjadi.

Hasil pengujian menunjukkan nilai laju korosi yang memiliki satuan mmpy, yakni seberapa besar ketebalan pengikisan material akibat korosi dalam rentang 1 tahun. Semakin besar nilai corrosion rate semakin mudah material mengalami korosi, seperti diperlihatkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai laju korosi (mmpy).

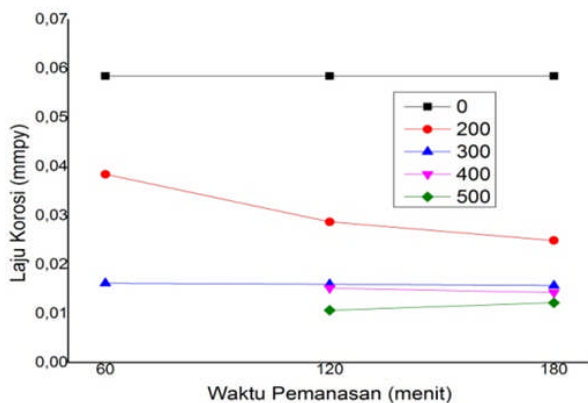
Waktu (menit)	200 ($^{\circ}\text{C}$)	300 ($^{\circ}\text{C}$)	400 ($^{\circ}\text{C}$)	500 ($^{\circ}\text{C}$)	Tanpa
60	0,0384	0,01618	-	-	0,05844
120	0,0287	0,01597	0,01517	0,01064	0,05844
180	0,0249	0,0157	0,01428	0,0122	0,05844

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan penurunan nilai laju korosi, yang berarti ketahanan material terhadap korosi semakin meningkat. Hal ini disebabkan peningkatan dari unsur Nikel dan juga Posfor pada lapisan, karena kandungan nikel sangat berperan penting untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan dan mampu meningkatkan ketahanan korosi tegangan, sedangkan posfor membantu mencegah terjadinya proses oksidasi pada udara luar yang dapat menyebabkan terjadi korosi. Sehingga penambahan unsur Nikel dan Posfor berperan dalam peningkatan ketahanan laju korosi lapisan.



Gambar 10. Grafik nilai laju korosi terhadap suhu pemanasan dalam mmpy.

Berdasarkan Gambar 11 diatas terlihat pengaruh waktu pemanasan cukup berperan guna menurunkan nilai



Gambar 11. Grafik nilai laju korosi terhadap waktu pemanasan dalam mmpy.

laju korosi, terutama pada suhu 200 °C terjadi penurunan signifikan. Akan tetapi hal ini tidak berpengaruh terlalu besar pada suhu 300 °C dan 400 °C, ini dikarenakan peningkatan kandungan Ni dan P yang tidak terlalu tinggi.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengaruh suhu dan waktu pemanasan terhadap karakteristik lapisan *elektrodes* Ni-P pada baja tahan karat martensitik SS 420, disimpulkan bahwa kenaikan suhu dan waktu pemanasan menyebabkan butiran lapisan Ni-P yang terbentuk semakin seragam. Perlakuan panas menyebabkan komposisi nikel dan posfor semakin tinggi dalam lapisan *elektrodes*, dimana kandungan posfor dan nikel tertinggi dicapai pada suhu pemanasan 400 °C dengan waktu pemanasan selama 180 menit. Kenaikan suhu dan waktu pemanasan meningkatkan ketahanan material terhadap korosi. Nilai laju korosi tertinggi pada material yang tidak mengalami proses perlakuan panas yakni sebesar 0,05844 mmpy. Sedangkan nilai laju korosi terendah sebesar 0,01064 mmpy yakni pada spesimen dengan suhu pemanasan 500 °C dan 120 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI yang telah mendanai penelitian ini melalui mekanisme kegiatan Tematik 2016.

DAFTAR ACUAN

[1] Z. Sharifalhoseini and M. H. Entezari. "Applied Surface Science Enhancement of the Corrosion Protection of Electroless Ni-P Coating by Deposition of Sonosynthesized ZnO Nanoparticles." *Appl. Surf. Sci.*, vol. 351, pp. 1060-1068. 2015.

[2]. B. Panja and P. Sahoo. "Wear Behavior of Electroless Ni-P Coatings in Brine Solution and Optimization of Coating Parameters." *Procedia Technol.*, vol. 14, pp. 173-180. 2014.

[3]. I. Kwon, H. Kim, and S. Bum. "Journal of Industrial and Engineering Chemistry Optimization of Barrel Plating Process for Electroless Ni-P plating." *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 20, no. 5, pp. 3767-3774. 2014.

[4]. E. L. C. O. Eposition, "Al 2 O 3 D," 2016.

[5]. M. Zhang, S. Mu, Q. Guan, W. Li, and J. Du. "Applied Surface Science A High Anticorrosive Chromium-Free Conversion Coating Prepared with an Alkaline Conversion Bath on Electroless Ni-P Coating." *Appl. Surf. Sci.*, vol. 349, no. 2015, pp. 108-115, 2017.

[6]. R. Taheri, I. N. A. Oguocha, and S. Yannacopoulos. "The Tribological Characteristics of Electroless Nip Coatings," vol. 249, no. January, pp. 389-396, 2001.

[7]. H. Liu, Y. Y. Lv, Z. Liu, H. Liu, and G. E. Thompson. "Tribology International Dry Sliding Wear Behaviour and Structural Characteristics of Laser-Annealed Electroless Ni-P/Ni-Mo-P Duplex Coatings." vol. 103, pp. 343-351, 2016.

[8]. W. Wang, W. Zhang, Y. Wang, N. Mitsuzak, and Z. Chen. "Applied Surface Science Ductile electroless Ni-P Coating Onto Flexible Printed Circuit Board." *Appl. Surf. Sci.*, vol. 367, pp. 528-532, 2016.

[9]. J. Wojewoda-budka, A. Wierzbicka-miernik, L. Litynska-dobrzynska, and M. J. Szczerba. "Electrochimica Acta Microstructure Characteristics and Phase Transformations of the Ni-P and Ni-P-Re Electroless Deposited Coatings After Heat Treatment." vol. 209, pp. 183-191, 2016.

[10]. H. Wu, A. Susanto, and K. Lian. "Applied Surface Science Thin and Flexible Ni-P Based Current Collectors Developed by Electroless Deposition for Energy Storage Devices." *Appl. Surf. Sci.*, vol. 394, pp. 63-69. 2017.

[11]. I. E. Ayoub. "Study of Electroless Ni-P Plating on Stainless Steel." no. 1, pp. 13-16.

[12]. E. Mabruri, S. Prifiarni, T. B. Romijarso, and B. Adjiantoro. "Kekerasan Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr." pp. 133-140, 2015.

[13]. P. Suhu, T. Nilai, and D. Dan. "Kandungan Senyawa Asap Cair Hasil Pirolisis." Skripsi. 2013.

[14]. "pack-carburizing-ugm.pdf."